6Ш

УДК 681.31

Б.М. Шевчук
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, м. Київ, Україна
incors@ukr.net

Підвищення ефективності передачі пакетів інформації в сенсорних та локально-регіональних радіомережах для організації зв'язку між мобільними роботами і рухомими системами

У статті запропоновані методи і алгоритми комплексної обробки і кодування моніторингової інформації, масивів даних для формування і передачі компактних криптостійких та завадостійких пакетів інформації, а також для зв'язку між віддаленим центром управління, збору і передачі інформації та мобільними системами. Запропоновано оперативно визначати амплітудно-часові характеристики суттєвих відліків сигналів і відеосигналів, включаючи екстремуми і точки перегину, а вихідні потоки даних кодувати різницевими кодами. Після стиску даних без втрат бітові послідовності заданої величини шифруються з урахуванням необхідного ступеня захисту інформації. Завадостійка передача пакетів інформації досягається за рахунок перемішування даних і передачі шумоподібних пакетів з мінімально необхідною базою.

Вступ

Стрімкий розвиток інформаційних та комунікаційних технологій забезпечує основу для побудови малогабаритних інтелектуальних роботів, безпілотних літаків, мікросупутників, бортових засобів транспортних систем різноманітного застосування. Важливою проблемою побудови мобільних роботів і рухомих систем є організація зв'язку між віддаленим центром керування і збору та передачі інформації, а також між групою мобільних систем, які виконують спільне завдання. Це стосується вирішення проблем дистанційного моніторингу великих територій, морських шельфів, промислових регіонів, сільськогосподарських угідь, лісових масивів, заповідників, автомобільних та залізничних магістралей, нафто- та газопроводів. Мова йде про екомоніторинг, охоронний моніторинг територій великих підприємств, житлових масивів, моніторинг безпеки руху на автомагістралях та ін. Для ефективного вирішення цих завдань бортові системи збору, обробки і передачі різноманітної інформації (сигналів, відеосигналів, масивів даних) мобільних роботів (МР) і рухомих систем (РС) є основою для побудови абонентських систем сенсорних радіомереж, які забезпечують надійну передачу інформації між віддаленими МР і РС. В місцях відсутності умов надійного радіозв'язку МР і РС можуть утворювати послідовні ланки для ретрансляції моніторингової інформації та сигналів керування від окремих РС, які є віддаленими або перебувають в низовині та ін. зонах відсутності умов радіозв'язку.

Метою даної статті є розробка методів та алгоритмів комплексної обробки та кодування моніторингової інформації (сигналів та відеосигналів), масивів даних для формування і передачі компактних, криптостійких та завадостійких пакетів інформації,

які передаються в радіоканалах з шумами. При цьому основним завданням абонентських систем МР і РС є підтримка високої інформаційної ефективності розгалуженої радіомережі збору, обробки і передачі інформації в умовах зміни енергетичного співвідношення сигнал/шум в радіоканалі у великих межах.

Методологія інформаційно-ефективної обробки, кодування та передачі інформації в радіомережах для зв'язку МР і РС

Ефективна передача інформації у радіомережах досягається за рахунок підтримки абонентами мережі мінімально необхідного (оптимального) енергетичного співвідношення сигнал/шум у радіолінії, відбору та відправки в мережу передачі інформації достовірної (точної) інформації в місцях виникнення інформаційних потоків, забезпечення умов для безконфліктної передачі інформаційних пакетів інформації (ІП), на основі компактного, крипостійкого та завадостійкого кодування службових та інформаційних кадрів ІП. При заданих величинах робочої смуги частот F та ймовірності помилкового прийому елементарного дискретного сигналу або кодової послідовності P_n ефективність роботи мережі передачі інформації характеризується показником інформаційної ефективності системи передачі інформації $\eta = R/C$, де $R_{\max} = f(F, P_n, E_b / J_o, 1/B, K_{cm})$ – поточна швидкість передачі інформації, C – пропускна спроможність каналу зв'язку (теоретична максимальна швидкість передачі інформації), E_b / J_o – енергетичне співвідношення сигнал/шум, $E_b = S \cdot T_b$ – енергія сигналу на один біт (питома енергія одного біта), S – потужність сигналу, $J_o = J/F$, J – середня потужність сумарних завад у радіоканалі, $B = F \cdot T_b$ – база сигналу (коефіцієнт розширення спектра сигналу), K_{cm} – сумарний коефіцієнт стиску даних, що підлягають до передачі ІП, так і в процесі передачі ІП, включаючи стиск даних з допустимими (контрольованими втратами), який характерний при обробці та кодування сигналів і зображень, стиск даних без втрат, стиск даних у процесі формування та передачі ІП, який здійснюється на інформаційному рівні обробки і кодування даних, а також на радіотехнічному рівні шляхом ущільнення каналів передачі інформації. Досягнення максимальної поточної швидкості передачі інформації Ri за умови підтримки необхідного енергетичного співвідношення $(E_b / J_o)_H$ у радіоканалі здійснюється шляхом адаптивного вибору мінімально необхідної бази канальних сигналів B_{min}. В цьому випадку поточна швидкість передачі інформації визначається виразом

$$R_i = K_{cm} \cdot L / k_s \cdot T_b \cdot B_{\min},$$

де $K_{cm} = K_i \cdot K_{rt}$ – сумарний коефіцієнт стиснення даних, K_i– коефіцієнт стиснення даних на інформаційному рівні; K_{rt} – коефіцієнт стиснення даних на радіотехнічному рівні, L – кількість ортогональних ШПС, які асинхронно передаються в спільному радіоканалі ($L \le B/4$), тобто величина L відповідає кількості незалежних кодових моноканалів у смузі частот F, $k_s > 1.4\text{-}1.8$ – коефіцієнт що враховує якість відновлення фронтів цифрових (імпульсних) сигналів.

Комплексна обробка і кодування моніторингових даних на абонентських системах (АС) радіомереж передбачає виконання послідовності алгоритмів, включаючи [1]:

фільтрацію і стиск сигналів (відеосигналів) з допустимими втратами даних; стиск даних без втрат; захист компактних масивів даних; завадостійке кодування інформаційних пакетів з урахуванням поточного співвідношення сигнал/шум в каналі зв'язку.

Для досягнення високої інформаційної ефективності мережі передачі даних з урахуванням вимог до швидкодії і точності обробки вхідних потоків даних, крипостійкого та завадостійкого кодування ІП в процесі комплексної обробки та кодування даних на АС радіомереж доцільно реалізовувати сукупність різноманітних видів адептацій. В процесі стиску сигналів і відеосигналів з допустимими втратами доцільно оперативно визначати амплітудно-часові характеристики суттєвих відліків, включаючи екстремуми та точки перегину (точки зміни опуклості кривої), при цьому вихідні потоки даних кодують різницевими кодами. Для реалізації надшвидкого стиску сигналів і відеосигналів в темпі введення даних визначають середню крутизну сигналу ΔX_{cp} і при $\Delta X_{cp} > \Delta X_{доп}$ точки зміни опуклості не визначають, а точність кодування амплітудних значень екстремумів обмежують з урахуванням внесення мінімальних спостережень, які не змінюють візуальні характеристики обвідної сигналу. У вихідному компактному масиві даних після стиску сигналів (відеосигналів) з допустимими втратами припустимі збиткові послідовності двійкових даних. Тому подальше компактне кодування даних ґрунтується на реалізації оперативних методів стиску двійкових послідовностей без втрат інформації. Підвищення ефективності стиснення даних без втрат досягається за рахунок *m*-канального *(m>1)* відбору вхідних послідовностей різної тривалості, виробом результатів кодування того каналу, який найбільш компактно кодує дані з наступним виконанням операцій заміщення двійкових послідовностей або гаміювання даних з псевдовипадковими послідовностями та використанням наступних *n* циклів *(n>1)* компактного кодування даних [2]. Компактне кодування даних може поєднуватись із захистом інформації, тобто виконується операція стиску-захисту даних. Реалізація такого кодування вимагає використання на АС високопродуктивних процесорів. Для криптозахисту компактних масивів даних з заданою величиною ступеня захисту інформації P_z доцільно шифрувати *l*-бітові послідовності стислих масивів даних з використанням одноразових ключів, де $P_z = \max[2^l]$, *l>2048*, при цьому для кожної наступної операційної операції шифрування (гаміювання) відповідних *l*-бітових послідовностей використовуються інші незалежно згенеровані секретні ключі. Для надійного захисту ІП кожний абонент мережі повинен володіти закритим секретним ключем, який невідомий іншим абонентам. При необхідності передачі пакетів даних *j*-му абоненту мережі *i*-й абонент направляє йому короткий пакет-запит і після отримання відповіді направляє *j*-му абоненту сеансовий ключ, зашифрований засобами асиметричної криптографії. Після цього здійснюється передача ІП, зашифрованого сеансовим ключем.

Стислі та захищені масиви даних фактично є псевдохаотичними беззбитковими двійковими послідовностями, які при формуванні ІП трансформуються у послідовності хаотичних інтервально-імпульсних сигналів. При наявності значних шумів у радіоканалі парою абонентів у процесі встановлення зв'язку визначаються та задаються параметри формування та прийому шумоподібних інтервально-імпульсних сигналів. Мова йде про вибір бази шумоподібних сигналів (ШПС) та тривалості елементарного символу ШПС. Підвищення завадостійкості передачі інформації при низькому співвідношенні сигнал/шум у радіоканалі досягається за рахунок реалізації завадостійкого кодування та перемішування даних, шляхом передачі шумоподібних ІП з оперативно визначеною мінімально необхідною базою B_{min}. Перспективним способом завадостійкого кодування даних ІП є застосування рекурсивного кодування послідовностей бітів ІП

з використанням кодів поля Галуа та формування сигнальних коректуючих послідовностей, які передаються в радіоканалі. Виявлення помилок на прийомній стороні ґрунтується на використанні абонентом-відправником ІП біт-орієнтованої нумерації послідовності нулів і одиниць, які передаються за допомогою кодових послідовностей Галуа. При виявленні помилок рекурентним шляхом визначається місцезнаходження того символу, який потребує виправлення. Для підвищення достовірної передачі інформації в радіоканалах з шумами при досягненні високої швидкості передачі інформації $R_i \to R_{\max}$ доцільне оптимальне поєднання рекурсивного кодування послідовностей бітів ІП з використанням кодів поля Галуа з формуванням відповідних інтервально-імпульсних шумоподібних сигналів.

Реалізація обробки і кодування моніторингових даних та передача ІП в радіомережах з самоорганізацією передачі інформації

Реалізація інформаційно-ефективної обробки і кодування даних бортовими засобами МР і РС залежно від галузі їх застосування (відеомоніторинг стаціонарних об'єктів, дорожній моніторинг, передача даних з безпілотного апарату та ін.), вимог по точності та швидкодії кодування, продуктивності процесора (процесорів), забезпечує: контроль спотворень відрізків огинаючих сигналів і відеосигналів в темпі їх обробки та кодування (обробка і кодування сигналів і відеосигналів без фільтрації, з використанням адаптивної фільтрації на основі ковзкого середнього, адаптивної медіанної фільтрації); мінімізацію кількості біт для кодування суттєвих відліків (СВ); мінімізацію кількості СВ залежно від галузі застосування засобів обробки сигналів і відеоданих, вимог по точності кодування та відновлення огинаючої сигналів і відеосигналів, вимог до точності відновлення деталей відеозображення.

Компактне кодування СВ вибірок сигналів і відеосигналів здійснюється в режимах: компактне кодування СВ без втрат (відсутня попередня фільтрація сигналів та відеосигналів); фільтрація сигналу та відеосигналу та адаптивне кодування СВ з контрольованими втратами інформації; фільтрація сигналу (відеосигналу) та найбільш компактне кодування СВ (надвисокий стиск моніторингових даних).

Вихідні компактні потоки даних кодуються у вигляді наступного потоку даних:

$$\{CI_З\}\left[\{CI^1_{ПА}\}\{(КД^{11}_{СВ})(КД^{12}_{СВ})..(КД^{1N_1}_{СВ})\}\right]\ldots$$
$$\ldots\left[\{CI^2_{ПА}\}\{(КД^{21}_{СВ})(КД^{22}_{СВ})..(КД^{2N_2}_{СВ})\}\ldots\right.$$
$$\ldots\left[\{CI^n_{ПА}\}\{(КД^{n1}_{СВ})(КД^{n2}_{СВ})..(КД^{nN_n}_{СВ})\}\right],$$

де $CI_З$ – загальна службова інформація, $CI_{ПА}$ – службова інформація параметрів адаптації, $КД^{ij}_{СВ}$ – компактні дані *j*-го СВ *i*-ї вибірки вхідних даних, $i = 1,..., N_i$, $j = 1,..., n$, N_i – максимальна кількість СВ *i*-ї вибірки вхідних даних. Залежно від динамічних характеристик ділянок сигналів, вхідного співвідношення сигнал/шум $CI_{ПА}$ адаптивно змінюється, а послідовності амплітудних та часових параметрів СВ кодуються різницевим кодом (кодом першої або другої різниці). При надвисокому стиску сигналів (відеосигналів) з допустимими втратами інформації обмежуються точність кодування

амплітудно-часових параметрів СВ та кількість СВ з урахуванням внесення мінімальних спотворень, які не змінюють візуальні характеристики обвідної кривої. При цьому зменшується кількість достовірних біт СВ.

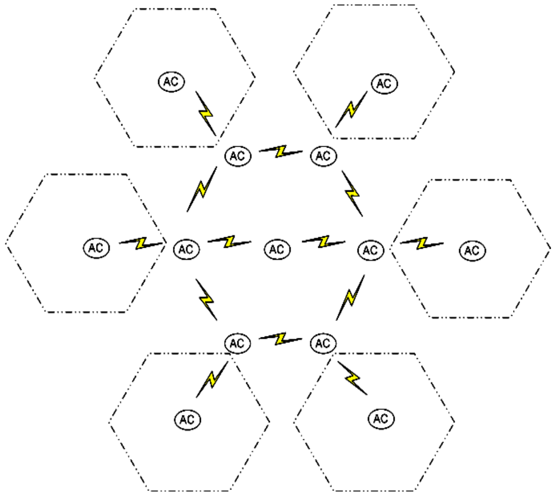


Рисунок 1 – Структура радіомережі з самоорганізацією передачі ІП

Реалізація передачі ІП в радіомережах із самоорганізацією передачі інформації (рис. 1) ґрунтується на тому, що всі АС мережі виконують функції маршрутизаторів і контролюють якість каналів зв'язку з найближчими сусідніми АС. За рахунок цього формуються резервні шляхи передачі ІП до віддалених АС. Відповідні АС (МР і РС) можуть розміщуватись на пріоритетних висотах для передачі ІП на великі відстані. Одна з АС може виконувати функції координатора мережі, до якого передається інформація від кожної АС про адреси сусідніх АС та про стан відповідних каналів зв'язку. В результаті взаємодії сусідніх АС одна з одною або шляхом використання інформації, отриманої від координатора, віддалені абоненти мережі формують оптимальні шляхи передачі своїх ІП та ІП сусідніх АС. За рахунок реалізації комплексної обробки та кодування даних суттєво зменшується кількість ІП, що підлягають передачі між сусідніми АС та ретрансляції на великі відстані. В результаті стиску-захисту сигналів (відеосигналів) та вхідних масивів даних формуються безнадлишкові псевдохаотичні вихідні масиви даних, в яких відсутні залежності між сусідніми b-бітовими послідовностями, b = 5, 6, 7, 8,... (рис. 2).

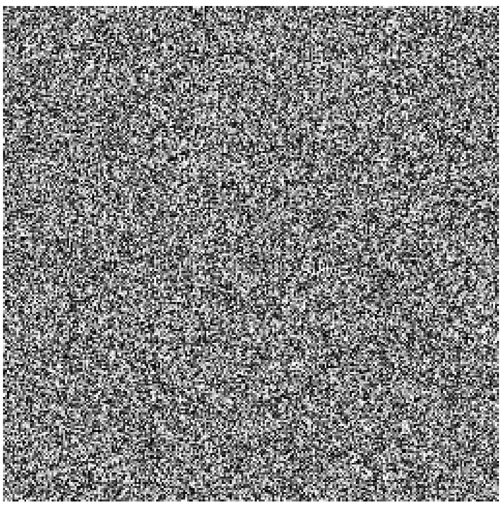


Рисунок 2 – Хаосграма безнадлишкового масиву даних

Таким чином, неважливо, чи це вхідні вимірювальні сигнали, чи це вхідна відеоінформація, чи масиви вхідних даних, на виході АС формуються псевдохаотичні кадри ІП, які ретранслюються на великі відстані.

Висновки

Суттєве підвищення ефективності передачі інформації в радіомережах зв'язку між мобільними роботами та рухомими системами досягається за рахунок реалізації бортовими засобами мобільних систем інформаційно-ефективних методів і алгоритмів обробки сигналів та відеосигналів, кодування масивів даних на основі стиску-захисту достовірних даних з урахуванням попередньо заданого ступеня захисту інформації в мережі та шляхом адаптивного вибору бази шумоподібних сигналів пакетів даних. В радіомережах із самоорганізацією передачі ІП інформаційно-ефективна обробка та кодування даних на АС суттєво зменшує кількість ІП, що підлягають ретрансляції на великі відстані.

Література

1. Технологія багатофункціональної обробки і передачі інформації в моніторингових мережах / [Шевчук Б.М., Задірака В.К., Гнатів Л.О., Фраєр С.В.]. – К. : Наук. думка, 2010. – 370 с.
2. Шевчук Б.М. Оброблення, кодування та передавання даних засобами абонентських систем інформаційно-ефективних радіомереж / Б.М. Шевчук // Комп'ютерні засоби, мережі та системи. – 2010. – № 9. – С. 130-139.

Literatura

1. Shevchuk B.M. Tehnologija bagatofunkcional'noї obrobki i peredachi informacії v monitoringovih merezhah. K.: Nauk. Dumka. 2010. 370 s.
2. Shevchuk B.M. Komp'juterni zasobi, merezhi ta sistemi. № 9. 2010. S. 130-139.

B.M. Shevchuk

Improving the Efficiency of Packet Transmission in Local-Regional Wireless Sensor Networks for Communication between Mobile Robots and Mobile Systems

The article, based on the methodology of information and efficient processing, coding and packet transmission in radio networks, proposes the methods and algorithms for complex processing and coding of monitoring information (signals and video signals), data sets for the generation and transmission of compact, reliable and error-correcting packets of information in local-regional wireless sensor networks with self-organization transfer of information to implement the communication between mobile robots and mobile systems, as well as for communication between a remote control center, data acquisition and transmission and mobile systems. In the process of data compression with acceptable loss, in the article it is proposed to determine quickly the amplitude-temporal characteristics of the material samples and video signals, including extremes and inflection points, and to encode output data streams by difference codes. After lossless data compression, bit sequences given value is encrypted with the necessary degree of information security. Noise-proof transmission of information packets is achieved through the mixing of data and transmission of noise-like packages with the minimum of necessary facilities.

Стаття надійшла до редакції 22.06.2011.